发酵菜籽粕对肉鸡生长性能、营养物质消化吸收及肉品质的影响[1]

陈昭琪[1] 丁之恩[1*] 蔡海莹[2*] 邢 懿[1] 常 慧[1]

（1.安徽农业大学茶与食品科技学院，合肥 230036；2.安徽农业大学动物科技学院，合肥 230036）

摘 要：本试验以不同比例发酵菜籽粕替代豆粕，研究其对肉鸡生长性能、营养物质消化吸收及肉品质的影响作用。选取 200 只 7 日龄健康爱拔益加（AA）肉仔鸡，，随机分为 4 组，每组设置 5 个重复，每个重复 10 只鸡（公母各占 1/2）。A 组为对照组，饲喂基础饲粮；B、C、D 组为试验组，分别用发酵菜籽粕等氮替代基础饲粮中 15%、35%和 50%的豆粕进行饲喂。试验从 7 日龄开始，至 42 日龄结束。结果显示：1）7～42 日龄阶段，C、D 组平均日增重均极显著低于 A 组（$P<0.01$），料重比均极显著高于 A 组（$P<0.01$），同时 C 组的平均日采食量极显著高于 A 组（$P<0.01$）；B 组的平均日增重、平均日采食量和料重比与 A 组差异不显著（$P>0.05$）。2）42 日龄时，B、C、D 组肠道食糜 pH 较 A 组分别下降 1.57%（$P<0.01$）、1.41%（$P<0.01$）、0.16%（$P>0.05$）；B、C、D 组肠道食糜黏度较 A 组分别下降 4.17%（$P<0.05$）、4.17%（$P<0.05$）、1.67%（$P>0.05$）。42 日龄时，与 A 组相比，B 组蛋白质表观消化率、能量表观消化率、脂肪表观消化率显著或极显著上升（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），而 C、D 组蛋白质表观消化率、脂肪表观消化率则显著或极显著下降（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。3）与 A 组比，各试验组胸肌的 $pH_{45\ min}$、$pH_{24\ h}$ 出现不同程度的下降，但 B 组 $pH_{24\ h}$ 与 A 组差异不显著（$P>0.05$）；与 A 组相比，B 组胸肌的亮度（L*）值极显著提高（$P<0.01$），红度（a*）、黄度（b*）值则极显著降低（$P<0.01$）；各试验组胸肌的滴水损失极显著低于 A 组（$P<0.01$）；B、C 组胸肌的剪切力极显著低于 A 组（$P<0.01$）；B、C、D 组胸肌的肌苷酸含量较 A 组分别提高 2.55%（$P<0.01$）、0.66%（$P>0.05$）、0.21%（$P>0.05$）。综上，发酵菜籽粕等氮替代肉鸡饲粮中 15%的豆粕对生长性能无负面影响，同时还可促进肉鸡对营养物质的消化吸收并改善肉品质。

关键词：发酵菜籽粕；生长性能；消化吸收；肉品质

收稿日期：2017-01-24
基金项目：国家科技支撑计划（编号 2012BAD14B13）
作者简介：陈昭琪（1992-），女，安徽黄山人，硕士研究生，从事食品科技、动物营养研究。E-mail：985463069@qq.com
*通信作者：丁之恩，教授，博士生导师，E-mail： 448316056@qq.com；蔡海莹，副教授，硕士生导师，E-mail： haiying@ahau.edu.cn

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　文章编号：

油菜籽去油后的副产物为菜籽粕，其营养组成丰富，氨基酸（尤其是含硫氨基酸）含量高，是一种很好的高蛋白质动物饲料[1]。但是菜籽粕中含有多种抗营养因子，如纤维、单宁、植酸和硫甙及其降解产物（噁唑烷硫酮、异硫氰酸酯）等，极大限制了菜籽粕作为禽畜饲料的使用量[2]。研究表明，菜籽粕经过微生物发酵后，可有效地脱除抗营养因子和有毒物质并改善其适口性，同时生成较多有益物质，有助于协调动物体内胃肠道平衡[3]。目前，关于发酵菜籽粕的研究主要集中在动物生长性能、血清生化指标、免疫功能等方面。Chiang 等[4]研究发现，发酵菜籽粕可提高肉鸡的生长性能和营养物质表观消化率；胡永娜等[5]研究发现，饲粮添加 25%发酵菜籽粕对肉鸡的生长性能无显著影响，且可明显提高肉鸡的免疫功能和消化酶活性；余勃等[6]研究发现，饲粮添加 10%发酵菜籽粕对肉鸡的生长性能、甲状腺指数无显著影响；Xu 等[7]使用含 5%、10%发酵菜籽粕的饲粮饲喂肉鸡 42 d，发现 10%发酵菜籽粕对肉鸡生长性能无显著影响，同时可提高血清免疫球蛋白 G(IgG)和免疫球蛋白 M(IgM)含量。有关发酵菜籽粕在肉鸡饲粮中的替代比例及对肉鸡消化吸收方面影响的研究较少。本试验采用两步固态发酵菜籽粕为试验材料，以不同比例替代肉鸡饲粮中的豆粕，研究其对肉鸡生长、消化吸收和肉品质的影响，确定发酵菜籽粕替代豆粕的适宜比例，为实际生产中合理有效使用菜籽粕提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

菜籽粕在本实验室前期试验基础上进行两步混菌发酵，所用的菌株为本实验室保存，原料菜籽粕产自安徽合肥。发酵菜籽粕制作具体步骤如下：菜籽粕：硫酸铵：葡萄糖=40：6：1，第 1 步以黑曲霉和啤酒酵母（黑曲霉：啤酒酵母=1:2）为发酵菌株，接种量为 12%，底物含水量为 65%，在 30 ℃下发酵 60 h；第 2 步以枯草芽孢杆菌和保加利亚乳杆菌（枯草芽孢杆菌：保加利亚乳杆菌=1:3）为发酵菌株，接种量 14%，底物含水量为 60%，在 30 ℃下发酵 3 d。菜籽粕发酵前后营养物质及抗营养因子含量变化见表 1。

选取 7 日龄健康且体重相近的爱拔益加（AA）肉仔鸡 200 只，随机分为 4 组，每组 5 个重复，每个重复 10 只（公母各占 1/2）。A 组为对照组，饲喂玉米-豆粕型基础饲粮，B、C、D 组为试验组，分别饲喂用 15%、35%和 50%发酵菜籽粕等营养等能量替代豆粕的试验

饲粮。试验从 7 日龄开始，至 42 日龄结束。

1.2 试验饲粮及饲养管理

参照 NRC(1994)和 NY/T 33—2004《鸡饲养标准》，以玉米、豆粕等为主要原料，分为 7~21 日龄和 22~42 日龄 2 个阶段配制基础饲粮，然后分别用发酵菜籽粕等氮替代基础饲粮中 15%、35%和 50%的豆粕，配制成 3 种试验饲粮。试验所用饲粮组成及营养水平见表 2。

试验场地为安徽农业大学动物医院试验基地。试验鸡采用立体重叠式 4 层笼养，每个重复单笼饲养，免疫与鸡舍消毒按常规程序进行。各组试验鸡饲养管理程序一致，全程采用粉料饲喂，试验期间自由采食和饮水。

1.3 指标测定及其方法

1.3.1 生长性能指标

分别在 7 和 42 日龄空腹（自由饮水）12 h 后称重；以各组别每个重复为单位，记录 7～42 日龄的投料量、余料量和损耗料量，并计算各组的平均日增重(ADG)、平均采食量(ADFI)和料重比(F/G)。

1.3.2 营养物质消化吸收指标

在 42 日龄，各组每个重复选取 1 只鸡，分离肠道（十二指肠、空肠、回肠），挤压出食糜，-20 ℃保存。

1.3.2.1 肠道食糜 pH

解冻食糜，取出 0.1 g 左右，按体积比 1:9 加入去离子水，匀浆 30 s，并于 6 000 r/min 离心 10 min，测定上清液 pH。

表 1 菜籽粕发酵前后营养物质和抗营养因子含量变化（干物质基础）

Table 1 Content changes of nutrients and anti-nutritonal factors in rapeseed meal and fermented rapeseed meal (DM basis)

项目 Items	菜籽粕 Rapeseed meal	发酵菜籽粕 Fermented rapeseed meal
干物质 DM/%	93.40	94.71
粗蛋白质 CP/%	37.84	42.22
粗纤维 CF/%	12.43	9.21

粗脂肪 EE/%	1.51	2.86
真蛋白质 TP	34.12	39.12
小肽 Peptide/%	3.27	5.19
植酸 Phytic acid/%	4.51	2.35
单宁 Tannic/%	1.71	1.12
硫甙 Glucosinolate/（μmol/g）	9.92	0.83
异硫氰酸酯 OZT/（mg/g）	1.51	0.52
噁唑烷硫酮 ITC/（mg/g）	1.10	0.28

1.3.2.2 肠道食糜黏度

取出 0.2 g 左右食糜，按体积比 1:9 加入去离子水，低温匀浆 30 s，并于 4 ℃下 6 000 r/min 离心 10 min，取上清液。使用乌氏黏度计测量各组肠道食糜黏度，以蒸馏水为对照，结果用相对黏度表示。

1.3.2.3 养分表观消化率

在 42 日龄，各组每个重复取 2 只鸡，单笼饲养，禁食（自由饮水）1 d 后用对应饲粮饲喂 3 d，之后连续 4 d 收集全部粪样并去除羽毛和皮屑。全部粪样置于 65 ℃烘箱烘干至恒重，室温回潮 24 h，样品粉碎后过 40 目筛后置于 4 ℃冰箱保存备用。用氧弹仪测定饲粮和粪样的能量值，用凯氏定氮仪测定饲粮和粪样的粗蛋白质含量，用索氏抽提仪测定饲粮和粪样粗脂肪含量[8]后，计算各养分的表观消化率，计算公式如下：

某养分表观消化率(%)＝100×(食入饲粮量×饲粮中该养分含量-粪便量×粪便中该养分含量)/(食入饲粮量×饲粮中养分含量)。

1.3.3 肉品质指标

在 42 日龄时，各组每个重复随机取 2 只鸡，空腹称重后屠宰取左胸肌，参照 Mikulski 等[9]方法分别测定 pH、肉色、滴水损失、剪切力等。

1.3.3.1 pH

取胸肌样品于宰后 45 min 测其 pH（$pH_{45\ min}$），4 ℃放置 24 h 后再测其 pH（$pH_{24\ h}$）。

1.3.3.2 肉色

取 200 g 左右胸肌，用色差计于室温下测定亮度（L*）、红度（a*）、黄度 b*）值，

取 3 个不同部位重复测定 3 次，然后取平均值。

1.3.3.3　滴水损失

在肉鸡屠宰后 45～60 min，取长×宽×厚为 4 cm×3 cm×2 cm 的胸肌肉块称重，记为 W_0；然后将肉块悬挂于密闭容器中，4 ℃放置 24 h 后，用滤纸吸去表面的多余水分，称重，记为 W_1。采用下面的公式计算滴水损失：

滴水损失（%）=100×（W_0-W_1）/W_0。

表 2　饲粮组成及营养水平

Tabel 2　Composition and nutrient levels of diets　　%

项目 Items	7~21 日龄 7 to 21 days of age				22~42 日龄 22 to 42 days of age			
	A 组 Group A	B 组 Group B	C 组 Group C	D 组 Group D	A 组 Group A	B 组 Group B	C 组 Group C	D 组 Group D
原料 Ingredients								
玉米 Corn	57.20	59.30	61.92	62.10	60.10	62.00	63.90	63.90
豆粕 Soybean meal	37.50	30.10	21.30	16.30	33.20	26.60	19.10	14.70
发酵菜籽粕 Fermented rapeseed meal		5.30	11.48	16.30		4.70	10.30	14.70
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.37	1.37	1.37	1.37	1.17	1.17	1.17	1.17
菜籽油 Rapeseed oil	1.10	1.10	1.10	1.10	2.80	2.80	2.80	2.80
石粉 Limestone	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
赖氨酸 Lys	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
蛋氨酸 Met	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
预混料 Permix1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

营养水平 Nutrient levels2)								
粗蛋白质 CP	22.00	21.80	21.50	22.10	20.00	19.80	19.70	20.40
代谢能 ME/(MJ/kg)	14.05	13.78	13.61	13.48	14.33	14.20	14.05	13.93
钙 Ca	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
有效磷 AP	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 12 000 IU，VD_3 3 500 IU，VE 20 IU，VK_3 2.1 IU，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.03 mg，烟酸 nicotinic acid 45 mg，叶酸 folic acid 1.1 mg，泛酸 pantothenic acid 35 mg，生物素 biotin 0.15 mg，Cu 8 mg，Fe 80 mg，Mn 60 mg，Zn 60 mg，Se 0.20 mg，I 0.35 mg。

2 粗蛋白质、钙和有效磷为实测值，代谢能为计算值。CP, Ca and P were analyzed values, while the ME was a calculated value.

1.3.3.4 剪切力

将胸肌样品放置于 4 ℃冰箱冷却 24 h，取出冷却至室温，放置于水浴锅中，加热至中心温度在 75 ℃左右，取出冷却至室温，用圆形取样器沿肌纤维方向取长×宽×厚为 5 cm×2 cm×2 cm 的肉样，沿肌纤维方向用质构仪测其剪切力。

1.3.3.5 肌苷酸含量

称取 5 g（精确到 0.000 1）胸肌肉，参照吴莹莹等[10]的方法测其肌苷酸含量。

1.4 数据分析

用 Excel 2003 预处理数据后，使用 SPSS 17.0 软件进行数据分析，并使用 Duncan 氏法进行多重比较，结果以平均值±标准差表示，以 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 分别作为判断是否具有显著性和极显著性差异的依据。

2 结果与分析

2.1 发酵菜籽粕对肉鸡生长性能的影响

由表 3 可以看出，7～42 日龄阶段，C、D 组平均日增重较 A 组分别降低 21.68%（$P<0.01$）、28.31%（$P<0.01$），而 B 组的平均日增重则较 A 组稍有提高（$P>0.05$）；B、C 组平均日采食量较 A 组分别提高 2.67%（$P>0.05$）、15.62%（$P<0.01$），D 组平均日采食量较 A 组降低 6.40%（$P>0.05$）；B、C、D 组料重比较 A 组分别提高 1.60%（$P>0.05$）、

48.13%（P＜0.01）、31.55%（P＜0.01）。

表 3　发酵菜籽粕对肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of fermented rapeseed meal on growth performance of broilers

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
平均日增重 ADG/g	48.01±1.69^{Aa}	48.56±1.82^{Aa}	37.60±2.04^{Bb}	34.42±3.24^{Bb}
平均日采食量 ADFI/g	89.80±3.35^{Bbc}	92.20±3.38^{Bb}	103.83±5.36^{Aa}	84.05±1.91^{Bc}
料重比 F/G	1.87±0.01^{Bb}	1.90±0.05^{Bb}	2.77±0.27^{Aa}	2.46±0.22^{Aa}

同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著（P＞0.05），不同小写字母表示差异显著（P＜0.05），不同大写字母表示差异极显著（P＜0.01）。下表同。

In the same row, values with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2　发酵菜籽粕对肉鸡营养物消化吸收的影响

由表 4 可知，42 日龄时，B、C、D 组肠道食糜 pH 较 A 组分别下降 1.57%（P＜0.01）、1.41%（P＜0.01）、0.16%（P＞0.05）；B、C、D 组肠道食糜黏度较 A 组分别下降 4.17%（P＜0.05）、4.17%（P＜0.05）、1.67%（P＞0.05）。

表 4　发酵菜籽粕对肉鸡肠道食糜 pH 和黏度的影响

Table 4　Effects of fermented rapeseed meal on intestinal chyme pH and viscosity of broilers

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
pH	6.38±0.01^{Aa}	6.28±0.02^{Bb}	6.29±0.02^{Bb}	6.37±0.02^{Aa}
黏度 Viscosity/cps	1.20±003^{a}	1.15±0.01^{b}	1.15±0.02^{b}	1.18±0.02^{ab}

由表 5 可知，42 日龄时，与 A 组相比，B 组蛋白质表观消化率上升 1.77%（P＜0.01），

C、D 组蛋白质表观消化率分别下降 3.32%（P<0.01）、3.52%（P<0.01）；B、D 组脂肪表观消化率分别上升 1.85%（P<0.05）、1.36%（P<0.05），C 组脂肪表观消化率下降 0.59%（P<0.05）；B 组能量表观消化率上升 1.04%（P<0.01），C、D 组能量表观消化率均下降 0.19%（P>0.05）。

表 5　发酵菜籽粕对肉鸡养分表观消化率的影响

Table 5　Effects of fermented rapeseed meal on nutrient apparent digestibility of broilers　%

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
蛋白质表观消化率 Protein apparent digestibility	$66.49±0.23^{Bb}$	$67.67±0.13^{Aa}$	$64.28±0.17^{Cc}$	$64.14±0.10^{Cc}$
脂肪表观消化率 Fat apparent digestibility	$67.57±0.27^{b}$	$68.82±0.14^{a}$	$67.17±0.24^{c}$	$66.65±0.18^{d}$
能量表观消化率 Energy apparent digestibility	$78.13±0.19^{Bb}$	$78.94±0.19^{Aa}$	$77.98±0.18^{Bb}$	$77.88±0.19^{Bb}$

2.3 发酵菜籽粕对肉鸡肉品质的影响

由表 6 可知，与 A 组相比，B、C、D 组胸肌的 $pH_{45\ min}$ 下降 3.18%（P<0.01）、9.20%（P<0.01）、9.53%（P<0.01）；B、C、D 组胸肌的 $pH_{24\ h}$ 较 A 组分别下降 1.16%（P>0.05）、5.49%（P<0.01）、8.99%（P<0.01）；B、C、D 组胸肌的 L*值较 A 组分别提高 4.91%（P<0.01）、9.04%（P<0.01）、14.52%（P<0.01）；B、D 组胸肌的 a*值较 A 组分别降低 9.86%（P<0.01）、3.87%（P<0.01），C 组胸肌的 a*值较 A 组提高 5.63%（P<0.01）；B、D 组胸肌的 b*值较 A 组分别降低 6.43%（P<0.01）、4.02%（P<0.01），C 组胸肌的 b*值较 A 组提高 1.61%（P>0.05）；B、C 组胸肌的剪切力较 A 组分别下降 24.66%（P<0.01）、4.24%（P<0.05），D 组胸肌的剪切力较 A 组上升 0.51%（P>0.05）；B、C、D 组滴水损失较 A 组分别下降 40.23%（P<0.01）、20.42%（P<0.01）、15.95%（P<0.01）；B、C、D 组胸肌的肌苷酸含量较 A 组分别提高 2.55%（P<0.01）、0.66%（P>0.05）、0.21%

（P＞0.05）。

表 6　发酵菜籽粕对肉鸡肉品质的影响

Table 6　Effects of fermented rapeseed meal on meat quality of broilers

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
$pH_{45\ min}$	5.98±0.01^{Aa}	5.79±0.06^{Bb}	5.43±0.01^{Cc}	5.41±0.03^{Cc}
$pH_{24\ h}$	6.01±0.02^{Aa}	5.94±0.06^{Aa}	5.68±0.04^{Bb}	5.47±0.02^{Cc}
亮度值 L* value	48.69±0.17^{Dd}	51.08±0.23^{Cc}	53.09±0.07^{Bb}	55.76±0.11^{Aa}
红度值 a* value	2.84±0.03^{Bb}	2.56±0.03^{Dd}	3.00±0.01^{Aa}	2.73±0.08^{Cc}
黄度值 b* value	6.22±0.08^{Aa}	5.82±0.15^{Cc}	6.32±0.11^{Aa}	5.97±0.09^{Bb}
剪切力 Shearing force/N	17.52±0.39^{Aa}	13.20±0.23^{Bb}	16.96±0.08^{ABb}	17.61±0.06^{Aa}
滴水损失 Drip loss/%	6.71±0.18^{Aa}	4.01±0.44^{Cc}	5.34±0.61^{Bb}	5.64±0.03^{Bb}
肌苷酸含量 IMP content/(μg/g)	759.06±2.84^{Bb}	778.43±1.92^{Aa}	764.07±1.20^{Bb}	760.62±6.27^{Bb}

3 讨　论

3.1 发酵菜籽粕对肉鸡生长性能的影响

研究表明，菜籽粕中的硫甙等抗营养因子会对动物采食量及生产性能产生毒害作用[11]。本试验中菜籽粕经两步固态发酵后，营养价值和适口性得到了优化，粗蛋白质和粗脂肪含量都有一定量的增加，同时降低了抗营养因子含量，这与 Vig 等[12]和 Chiou 等[13]的研究结果一致。Chiang 等[4]的研究表明，发酵菜籽粕可以替代肉鸡饲粮中的豆粕。吴东等[14]的研究表明，9%添加量的发酵菜籽粕对肉鸡生长性能无显著影响，且饲喂效果最好。本研究中，当发酵菜籽粕替代比例为 15%时，肉仔鸡 7～42 日龄的平均日增重、平均日采食量和料重比与对照组差异不显著，但替代比例超过 15%时，肉鸡平均日采食量开始下降，平均日增重开始减少，这与胡永娜等[5]和余勃等[6]的研究结果一致。这可能是由于发酵菜籽粕中粗纤维含量较高，饲粮中添加比例过大导致肉鸡肠胃堵塞，不利于消化吸收；虽然各组饲粮营养水平相同，但是肉鸡对养分利用率不同，菜籽粕发酵后氨基酸含量增多，当其在饲粮中比例增大时，肉鸡需要消耗大量能量来吸收氨基酸，从而抑制了生长，Kephart 等[15]有过类似报道；另外，硫甙等抗营养因子脱除并未完全，当替代比例过大时，可能会对肉鸡采食量产生一定

的副作用，抑制其生长。

3.2 发酵菜籽粕对肉鸡营养物质消化吸收的影响

目前关于发酵菜籽粕对肉鸡肠道食糜 pH 和黏度的影响尚未见报道。纤维在动物消化道内溶解、降解，对胃肠道进行刺激和冲刷，引起肠道食糜黏度、pH 变化以及养分消化率下降等生理反应[16-17]。食糜黏度是反映饲料消化率的一个重要指标，黏度越小，表示其在肠道内停留时间越短，饲料不能得到充分消化吸收[18]。各试验组与对照组相比，肠道食糜 pH 和黏度均有下降，这与司马博锋等[19]研究中发现发酵复合蛋白质可降低猪肠道食糜 pH 和黏度的结果相似。这可能是由于菜籽粕发酵产生乳酸菌类物质，导致肠道食糜 pH 降低，而肠道食糜 pH 降低可减少食糜在胃肠道停留时间从而，降低食糜黏度，提高肠道对营养物质的吸收，从而促进肠道的发育，这与 Chiang 等[4]的研究一致。

与对照组相比，15%替代组蛋白质、脂肪和能量的表观消化率得到提高，胡永娜等[5]发现发酵菜籽粕可以提高肉仔鸡的养分表观消化率，Chiang 等[20]和 Chang 等[21]也有类似报道。这可能是由于菜籽粕经过微生物发酵后大分子蛋白质被分解为小分子物质如小肽和氨基酸等，提高了菜籽粕中蛋白质的品质，更加利于在消化道中分解、消化和吸收，增加了肉鸡合成自身蛋白质的机会；微生物发酵中可产生脂肪酶，提高脂肪的消化率；能量表观消化率提高可能是菜籽粕在发酵过程中中产生的活性肽类物质影响肉鸡的采食量。35%和 50%替代组养分表观消化率低于对照组，可能是饲粮比例中粗纤维含量较多使其吸收率降低所致；此外，粗纤维、硫甙含量过高会降低动物对蛋白质、能量的消化率。

3.3 发酵菜籽粕对肉鸡肉品质的影响

目前关于发酵菜籽对肉鸡肉品质的影响报道较少。肌肉 pH 是宰后肌肉酸度的直观表现[22]，pH 下降过快，肉质风味变差；肉色能反映肌肉组织成分是否发生变化；滴水损失能反映肌肉系水力，系水力直接影响肉品质（风味、嫩度、色泽等）；剪切力是肉质嫩度的表现，剪切力越小，肉嫩度越好；肌肉中的肌苷酸是评判肉质呈鲜的主要物质[23]。本研究中，15%替代组胸肌 $pH_{45\ min}$ 和 $pH_{24\ h}$ 均略低于对照组，同时胸肌 L*值高于对照组，b*值低于对照组，说明肉色得到改善，阮栋等[24]发现双低菜籽粕对肉鸡肌肉 L*、a*、b*值无显著影响，吴东等[14]也有类似结论；各试验组胸肌滴水损失均低于对照组，滴水损失越小说明系水力越高，肉质口感和风味得到改善，这与吴东等[14]发现发酵菜籽粕可显著降低肉鸡胸肌滴水损失的

结果一致；各试验组的胸肌剪切力均低于对照组，表明肉质的嫩度提高；各试验组的胸肌肌苷酸含量均高于对照组，这与李吕木等[25]得出的用发酵菜籽粕替代饲粮中 2/3 的豆粕饲喂肉鸭后胸肌肌苷酸含量显著提高的结果相一致，说明发酵菜籽粕可增加肉鸡肌肉中肌苷酸的含量。发酵菜籽粕可改善肉品质，究其原因可能是由于发酵后产生乳酸菌等有益菌，抑制有害微生物繁衍并促进肠道健康发育；同时，微生物发酵产生多种消化酶，促进了大分子物质的降解，提高了动物对营养物质的消化吸收。

4 结　论

①菜籽粕经两步固态发酵后，提高了粗蛋白质和真蛋白质含量，同时降低了硫甙等抗营养因子的含量，因此发酵菜籽粕可安全替代常规肉鸡饲粮中的豆粕。

②发酵菜籽粕等氮替代饲粮中 15%的豆粕后不影响肉鸡的生长性能，同时可提高肉鸡对营养物质的消化吸收，并且改善鸡肉的品质，但当替代比超过 15%时，肉鸡生长性能显著降低。从综合效益角度出发，发酵菜籽粕在肉鸡饲粮中等氮替代豆粕的比例以 15%为宜。

参考文献：

[1] WOYENGO T A,KIARIE E,NYACHOTI C M.Energy and amino acid utilization in expeller-extracted canola meal fed to growing pigs[J].Journal of Animal Science,2010,88(4):1433–1441.

[2]LUO Y W,AI Q H,MAI K S,et al.Effects of dietary rapeseed meal on growth performance,digestion and protein metabolism in relation to gene expression of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture,2012,368–369:109–116.

[3] 吴东,钱坤,徐鑫等.发酵菜籽粕替代豆粕对生长肥育猪生长性能、血清生化指标和肠道菌群的影响[J].养猪,2014（6）:49-51.

[4] CHIANG G,LU W Q,PIAO X S,et al.Effects of feeding solid-state fermented rapeseed meal on performance,nutrient digestibility,intestinal ecology and intestinal morphology of broiler chickens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2010,23(2):263–271.

[5] 胡永娜,王之盛,李爱科.固态发酵菜籽粕对肉仔鸡生长性能、免疫功能及消化酶活性的影响[J].动物营养学报,2012,24(7):1293–1301.

[6] 余勃,游金明,陆豫.固态发酵菜粕替代日粮中豆粕对肉仔鸡生长性能的影响[J].动物营养

学报,2009,21(2):239–244.

[7] XU F Z,ZENG X G,DING X L.Effects of replacing soybean meal with fermented rapeseed meal on performance,serum biochemical variables and intestinal morphology of broilers[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2012,25(12):1734–1741.

[8] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:48–108.

[9] MIKULSKI D,JANKOWSKI J,ZDUNCZYK Z,et al.The effect of different dietary levels of rapeseed meal on growth performance,carcass traits,and meat quality in turkeys[J].Poultry Science,2012,91(1):215–223.

[10] 吴莹莹,李文英,谢明.高效液相色谱法测定肌肉中肌苷酸的含量[J].食品科学,2005,26(12):191–193.

[11] TRIPATHI M K,MISHRA A S.Glucosinolates in animal nutrition:a review[J].Animal Feed Science and Technology,2007,132(1/2):1–27.

[12]VIG A P,WALIA A.Beneficial effects of *Rhizopus oligosporus* fermentation on reduction of glucosinolates,fibre and phytic acid in rapeseed (*Brassica napus*) meal[J].Bioresource Technology,2001,78(3):309–312.

[13] CHIOU P W S,CHEN C,YU B.Effects of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on *in situ* degradation of feedstuffs[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2000, 13(8):1076–1083.

[14] 吴东,徐鑫,杨家军,等.发酵菜籽粕替代豆粕对肉鸡生长性能、肉品质及血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(10):2676–2680.

[15] KEPHART K B,SHERRITT G W.Performance and nutrient balance in growing swine fed low-protein diets supplemented with amino acids and potassium[J].Journal of Animal Science,1990,68(7):1999–2008.

[16] BROWNLEEA.The physiological roles of dietary fibre[J].Food Hydrocolloids, 2011,25(2):238–250.

[17] WENK C.The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig[J].Animal Feed Science and Technology,2001,90(1/2):21–33.

[18] WILFART A,MONTAGNE L,SIMMINS H,et al.Effect of fibre content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):27–29.

[19] 司马博锋,陈代文,黄志清,等.固态发酵复合蛋白质对猪肠道消化生理及养分消化率的影响研究[J].动物营养学报,2011,23(1):86–93.

[20] CHIANG C C,CROOM J,CHUANG S T,et al.Development of a dynamic system simulating pig gastric digestion[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2008,21(10):1522–1528.

[21] CHANG J,YIN Q Q,WANG P P,et al.Effect of fermented protein feedstuffs on pig production performance,nutrient digestibility,and fecal microbes[J].Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences,2012,36(2):143–151.

[22] 安文俊,张丽,庄苏,等.饲喂不同配比油脂饲料对肉鸡肉品质及肌肉中脂肪酸组成的影响[J].食品科学,2011,32(15):245–250.

[23] 董金格,邹晓庭,胡家澄,等.日粮中添加谷氨酰胺对肉仔鸡肉品质和抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2009,21(2):245–250.

[24] 阮栋,蒋守群,蒋宗勇,等.饲粮双低菜粕水平对黄羽肉鸡生长性能、血液指标及肉品质的影响[J].中国粮油学报,2016,31(10):78–84,92.

[25] 李吕木,丁小玲,许发芝,等.发酵菜粕替代豆粕饲喂肉鸭对肉质的影响[J].饲料与畜牧,2010(6):19–22.

Effect of Fermented Rapeseed Meal on Growth Performance, Nutrient Digestion and Absorption and Meat Quality of Broilers

CHEN Zhaoqi[1] DING Zhien [1*] CAI Haiying[2*] XING Yi[1] CHANG Hui[1]

(1. *Institude of Tea and Food Science and Technology*, *Anhui Agriculture University*, *Hefei* 230036, *China*; 2. *Institude of Animal Science and Technology, Anhui Agriculture University*, *Hefei* 230036, *China*)

Abstract: In this experiment, equal-nitrogen replacing different proportions of soybean meal with fermented rapeseed meal to study the effects of fermented rapeseed meal on growth performance,

*Corresponding author, DING Zhien, professor, E-mail: 448316056@qq.com; CAI Haiying, associate professor, E-mail: haiying@ahau.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

nutrient digestion and absorption and meat quality of broilers. Two hundred 7-day-old healthy Arbor Acres (AA) broilers were randomly allocated to four groups with five replicates in each group and ten broilers in each replicate (half male and half female). Broilers in group A (control group) were fed a basal diet, while those in test groups were fed the basal diet with 15% (group B), 35%(group C) and 50% (group D) soybean mean equal-nitrogen replaced by fermented rapeseed meal, respectively. The trial began at 7 days of age and ended at 42 days of age. The results showed as follows: at the age of 7 to 42 days, the average daily gain (ADG) of groups C and D was extremely significantly lower than that of group A （$P<0.01$）, the feed/gain (F/G) of groups C and D was extremely significantly higher than that of group A （$P<0.01$）, and the average daily feed intake (ADFI) of group C was extremely significantly higher than that of group A （$P<0.01$）, while the ADG, ADFI and F/G of group B had no significant differences compared with group A （$P>0.05$）. 2)At the age of 42 days, the intestinal chyme pH of groups B ,C and D was decreased by 1.57% （$P<0.01$）, 1.41% （$P<0.01$） and 0.16% （$P>0.05$）, respectively; the intestinal chyme viscosity of groups B ,C and D was decreased by 4.17% （$P<0.05$）, 4.17% （$P<0.05$） and 1.67%（$P>0.05$）, respectively. At the age of 42 days, the apparent digestibility of protein, the apparent digestibility of fat and the apparent digestibility of energy of group B were significantly or extremely significantly higher than those of group A（$P<0.05$ or $P<0.01$), while the apparent digestibility of protein and the apparent digestibility of fat of groups C and D were significantly or extremely significantly lower than those of group A （$P<0.05$ or $P<0.01$）. 3) The chest muscle $pH_{45\ min}$ and $pH_{24\ h}$ of test groups had decreased to varying degrees compared with group A, and the $pH_{24\ h}$ of group B had no significant difference compared with group A （$P>0.05$）. Compared with group A, the chest muscle lightness (L^*) value of group B was extremely significantly increased（$P<0.01$）, while the redness （a^*） and yellowness （b^*） of group B were extremely significantly decreased （$P<0.01$）. The chest muscle dripping loss of test groups was extremely significantly lower than that of group A （$P<0.01$）; the chest muscle shearing force of groups B and C was extremely significantly lower than that of group A （$P<0.01$）; the chest muscle inosinic acid (IMP) content of groups B, C and D was increased by 2.55% （$P<$

0.01）, 0.66%（P＞0.05） and 0.21% （P＞0.05） compared with group A, respectively. It is concluded that equal-nitrogen replacement of 15% soybean meal with fermented rapeseed meal in diet of broilers has no negative effect on growth performance, and can improve nutrient digestion and absorption and meat quality of broilers.

Key words: fermented rapeseed meal; growth performance; digestion and absorption; meat quality